

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-121491

(43)Date of publication of application : 28.04.2000

(51)Int.Cl.

G01M 11/00
G03F 7/20
H01L 21/027

(21)Application number : 10-297846

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 20.10.1998

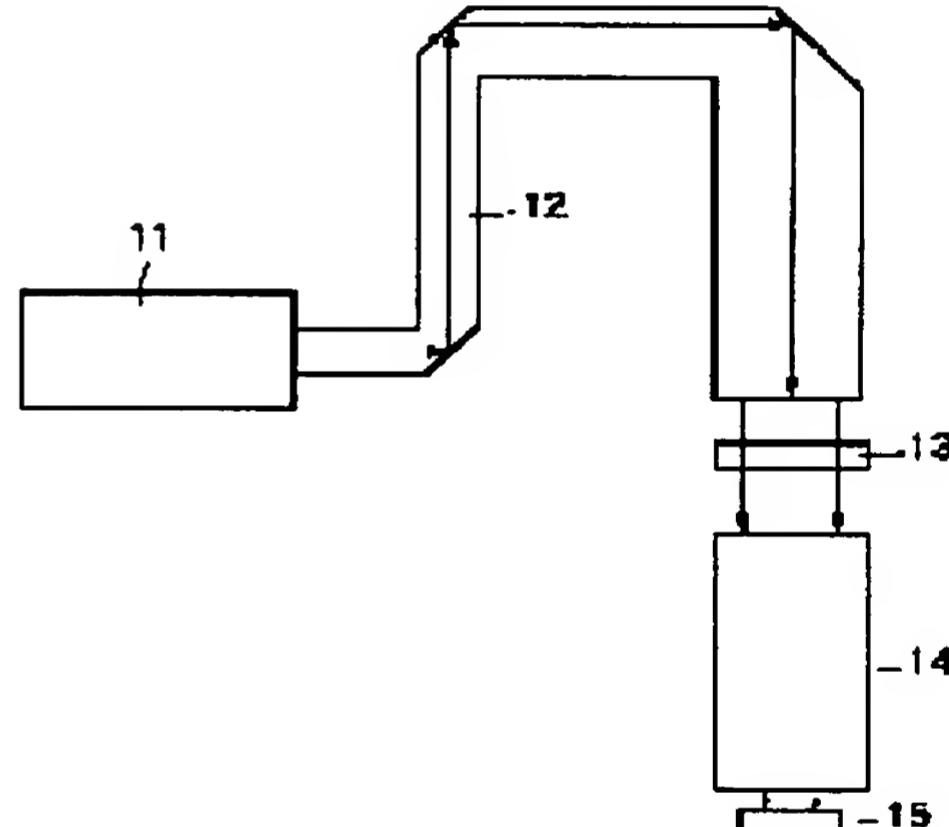
(72)Inventor : TANAKA KAZUMASA
OZAWA TOSHIHIKO

(54) EVALUATION METHOD FOR OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To evaluate imaging performance based on separation components by separating wavefront aberration having passed an optical system into a rotational symmetry component around an iris of the optical system and odd/even number symmetry components.

SOLUTION: A light flux emitted from a light source 11 emitting light with a specific wavelength below 400 nm, for example, 248.4 nm passes through an illumination optical system 12 and illuminates a pattern on a mask 13 with a uniform illuminance. The light flux having passed the pattern forms a pattern image on a photosensitive surface on a wafer 15 via a projecting optical system 14 so that the pattern image is transferred on the photosensitive surface. For evaluating the imaging performance of the projecting optical system 14, the wavefront aberration on the imaging wavefront having passed the projection optical system 14 is firstly measured. Then, the wavefront aberration obtained by defining the coordinate system on the emission iris plane of the projection optical system 14 is expressed on the coordinates and expanded to orthogonal functions. For separating the wavefront aberration into the rotational symmetry component around the iris of the optical system and the odd number symmetry component and even number symmetry component, a polar coordinate is used and Zernike's cylindrical functions is also used as an orthogonal function.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-121491
(P2000-121491A)

(43)公開日 平成12年4月28日 (2000.4.28)

(51)Int.Cl.⁷
G 0 1 M 11/00
G 0 3 F 7/20
H 0 1 L 21/027

識別記号

5 2 1

F I
G 0 1 M 11/00
G 0 3 F 7/20
H 0 1 L 21/30
L 2 G 0 8 6
5 2 1 5 F 0 4 6
5 1 6 A
5 1 6 Z

テマコード(参考)

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全8頁)

(21)出願番号 特願平10-297846

(22)出願日 平成10年10月20日 (1998.10.20)

(71)出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 田中 一政
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

(72)発明者 小澤 稔彦
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
式会社ニコン内

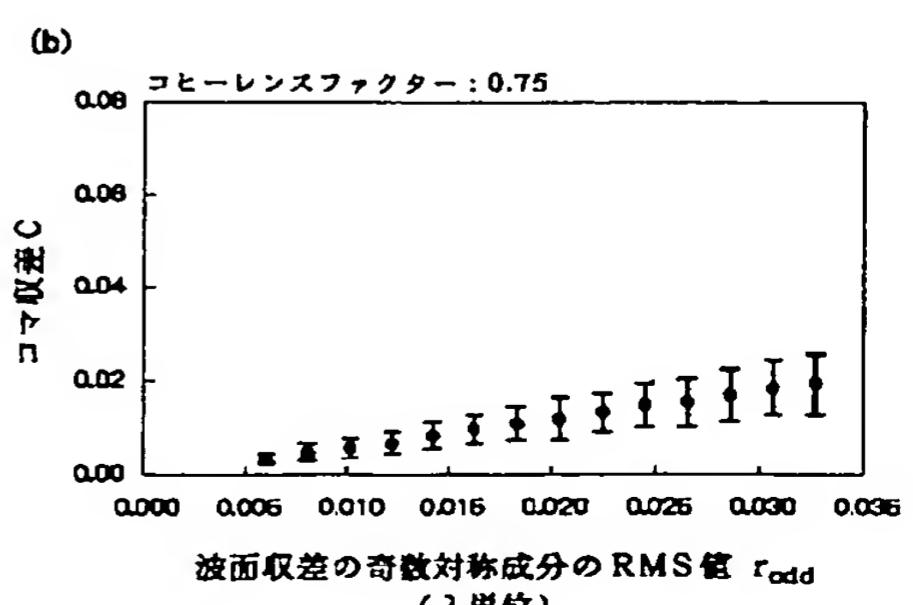
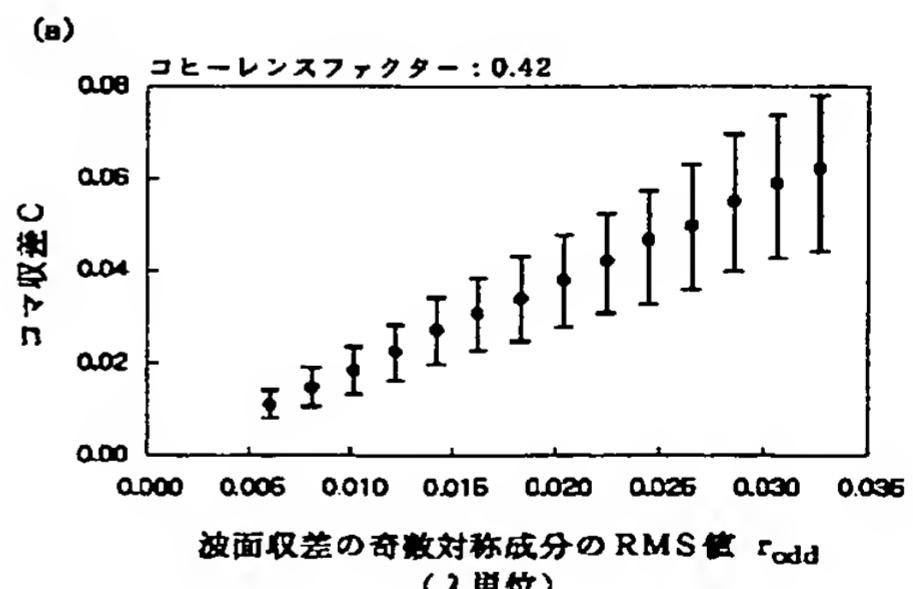
F ターム(参考) 2G086 EE12 HH05 HH06 HH07
5F046 BA03 CA08 DA13 DB01 DC04
EA03 EC05

(54)【発明の名称】光学系の評価方法

(57)【要約】

【課題】光学系による波面収差に基づいて、光学系の結像性能をより正確に表現することが出来る評価手法を提供する。

【解決手段】光学系14の結像性能を評価する方法において、光学系14を通過した波面収差W(ρ, θ)を瞳の中央を中心とする回転対称成分 W_{rot} (ρ, θ)と、奇数対称成分 W_{odd} (ρ, θ)と、偶数対称成分 W_{even} (ρ, θ)に分離し、分離された前記各成分 W_{rot} 、 W_{odd} 、 W_{even} に基づいて前記光学系の結像性能を評価することを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】光学系の結像性能を評価する方法において、前記光学系を通過した波面収差を前記光学系の瞳を中心とする回転対称成分と、奇数対称成分と、偶数対称成分に分離し、分離された前記各成分に基づいて前記光学系の結像性能を評価することを特徴とする光学系の評価方法。

【請求項2】前記回転対称成分、奇数対称成分、及び偶数対称成分のそれぞれの自乗平均平方根に基づいて前記光学系の結像性能を評価することを特徴とする請求項1記載の光学系の評価方法。

【請求項3】前記光学系は、400nm以下の特定の波長域で使用される光リソグラフィー用露光装置の投影光学系であることを特徴とする請求項1又は2記載の光学系の評価方法。

【請求項4】投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、投影光学系の波面収差を測定する第1工程と；該第1工程にて測定された前記波面収差を、前記光学系の瞳を中心とする回転対称成分と、奇数対称成分と、偶数対称成分とに分離する第2工程と；該第2工程にて分離された前記各成分に基づいて、前記投影光学系を調整する第3工程と；を有することを特徴とする製造方法。

【請求項5】投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影露光する投影露光装置において、

請求項4の製造方法により製造された投影光学系を備えることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光学系の結像性能の評価方法に関し、特に、光リソグラフィー用露光装置に使用される投影光学系の結像性能の評価方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】LSI等の半導体素子、液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッド等を製造するための露光装置では、マスク、レチクルなどの投影原版上のパターンを、投影光学系を介して、ウエハ、ガラスプレートなどの感光性基板上に投影して露光している。投影光学系の形式としては、露光波長の光を透過・屈折するレンズで構成された屈折型の投影光学系、露光波長の光を反射するミラーで構成された反射型の投影光学系、レンズとミラーとを組み合わせた反射屈折型の投影光学系がある。

【0003】近年、半導体素子などの集積度はますます高まり、すなわち基板上に転写されるパターンは微細化の一途をたどっている。そのため、露光装置の投影光学系は、微細なマスクパターンをウエハの感光面上に転写するために、高解像力で無収差に近い、極めて高い光学

性能が要求されている。この要求を満足するためには、投影光学系の設計上の光学性能や、投影光学系を構成するレンズ等の光学部品の内部均質性や研磨精度などの部品精度や、個々の光学部品の組み立て調整の精度などに、非常に高い性能・精度が必要になってきている。それと同時に、組み立てられた投影光学系の現実の結像性能を評価する手法にも、高い精度が必要になってきている。

【0004】投影光学系の結像性能の評価方法については、従来より、ウエハの感光面上に形成されるマスクパターンの空間像を観測して、その空間像に基づいて結像性能を評価する方法や、ウエハの感光面を形成するレジスト上に転写される実際のレジスト像を計測して、そのレジスト像に基づいて結像性能を評価する方法が用いられている。そのほかに、投影光学系を通過した波面収差を計測し、その波面収差の最大値と最小値の差（以下P-V値という）や、自乗平均平方根（以下RMS値という）などを評価指標として、投影光学系の結像性能を評価する方法が用いられており、この場合、P-V値やRMS値が小さいほど優秀な光学系であると考えられてきた。それ故、既存の「高性能」と称する光学系は、これらの値を小さくすることを目的に製造が行われてきた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、波面収差のP-V値やRMS値の小さな投影光学系を完成するには非常に長い工期がかかり、そのため量産化が困難であった。しかもこのようにして製造された投影光学系は、波面収差のP-V値やRMS値が同じである場合にも、空間像や実際のレジスト像を用いた評価では差が生じる場合が少なくない。すなわち従来の波面収差のP-V値やRMS値を用いる評価方法では、所望の光学性能が得られない場合がある。そして、所望の光学性能を達成していない投影光学系によって感光性基板上にマスクパターンを転写しても、より高い集積度を持つ半導体素子等の各種の素子を製造することは困難となる。したがって本発明は、光学系による波面収差に基づいて、光学系の結像性能をより正確に表現することが出来る評価手法を提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、光学系の結像性能を評価する方法において、前記光学系を通過した波面収差を前記光学系の瞳を中心とする回転対称成分と、奇数対称成分と、偶数対称成分に分離し、分離された前記各成分に基づいて前記光学系の結像性能を評価することを特徴とする光学系の評価方法である。その際、前記回転対称成分、奇数対称成分、及び偶数対称成分のそれぞれのRMS値（自乗平均平方根）を、前記光学系の結像性能の評価指標とすることが出来る。

【0007】本発明はまた、投影原版上に形成された所

定のパターンの像を感光性基板上へ投影する投影光学系の製造方法において、投影光学系の波面収差を測定する第1工程と；該第1工程にて測定された前記波面収差を、前記光学系の瞳を中心とする回転対称成分と、奇数対称成分と、偶数対称成分とに分離する第2工程と；該第2工程にて分離された前記各成分に基づいて、前記投影光学系を調整する第3工程と；を有することを特徴とする製造方法である。本発明は更に、投影原版上に形成された所定のパターンの像を感光性基板上へ投影露光する投影露光装置において、上記の製造方法により製造された投影光学系を備えることを特徴とする投影露光装置である。

【0008】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について具体的に説明する。図1は、本発明による評価方法を適用しようとする投影光学系を備えた露光装置を示す。400nm以下の特定の波長、例えば248.4nmの波長の光を発する光源11より発した光束は、照明光学系12を通過し、マスク13上のパターンPを均一な照度にて照明する。パターンPを通過した光束は、投影光学系14を介して、ウエハ15上の感光面にパターンPの像を形成し、こうしてパターンPの像がウエハ15上の感光面に転写される。

【0009】投影光学系14の結像性能を評価するには、先ず、投影光学系14を通過した結像波面の波面収差を測定する。波面収差の測定には、フィズー型干渉計、トワイマングリーン型干渉計、シアリング型干渉計などが用いられる。一例として、図2にフィズー型干渉計を示す。光源21から射出した光束は、ハーフプリズム22で反射（又は透過）して、フィズーレンズ23に入射する。フィズーレンズ23に入射した光束のうち、一部の光束はフィズーレンズの参照面23aで反射して参照光となり、往路を逆進してハーフプリズム22に戻る。フィズーレンズ23に入射した光束のうち、他の光束は参照面23aを透過して測定光となる。測定光は、

$$n : Z_n(\rho, \theta)$$

0 : 1	1 : $\rho \cos \theta$	2 : $\rho \sin \theta$	3 : $2 \rho^2 -$
1 : $\rho \cos \theta$	4 : $\rho^2 \cos 2\theta$	5 : $\rho^2 \sin 2\theta$	6 : $(3\rho^2 - 2)$
9 : $\rho^3 \cos 3\theta$	7 : $(3\rho^2 - 2) \rho \sin \theta$	10 : $\rho^3 \sin 3\theta$	8 : $6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$
θ	12 : $(4\rho^2 - 3) \rho^2 \sin 2\theta$		11 : $(4\rho^2 - 3) \rho^2 \cos 2\theta$
) $\rho \cos \theta$	14 : $(10\rho^4 - 12\rho^2 + 3) \rho \sin \theta$		13 : $(10\rho^4 - 12\rho^2 + 3)$
$- 30\rho^4 + 12\rho^2 - 1$	16 : $\rho^4 \cos 4\theta$		15 : $20\rho^6$
18 : $(5\rho^2 - 4) \rho^3 \cos 3\theta$	19 : $(5\rho^2 - 4) \rho^3 \sin 3\theta$		17 : $\rho^4 \sin 4\theta$
20 : $(15\rho^4 - 20\rho^2 + 6) \rho^2 \cos 2\theta$	21 : $(15\rho^4 - 20\rho^2 + 6)$		
) $\rho^2 \sin 2\theta$	22 : $(35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4) \rho \cos \theta$		
23 : $(35\rho^6 - 60\rho^4 + 30\rho^2 - 4) \rho \sin \theta$	24 : $70\rho^8 - 140$		
$\rho^6 + 90\rho^4 - 20\rho^2 + 1$	25 : $\rho^5 \cos 5\theta$		26 : $\rho^5 \sin 5\theta$
27 : $(6\rho^2 - 5) \rho^4 \cos 4\theta$	28 : $(6\rho^2 - 5) \rho^4 \sin 4\theta$		
29 : $(21\rho^4 - 30\rho^2 + 10) \rho^3 \cos 3\theta$	30 : $(21\rho^4 - 30\rho^2 + 10) \rho^3 \sin 3\theta$		

投影光学系14を通過し、XYステージ25上に載置された球面鏡24で反射し、往路を逆進してハーフプリズム22に戻る。ハーフプリズム22に入射した参照光と測定光は、ハーフプリズム22を透過（又は反射）して、撮像素子26上に球面鏡24の像を形成する。

【0010】投影光学系14に収差がないときには、測定光は球面鏡24の各点に同位相で入射し、フィズーレンズの参照面23aの各点に同位相で戻る。したがって撮像素子26上の各点で参照光と測定光との位相差が等しいから、球面鏡24の像は均一な強度分布となる。しかるに、投影光学系14に収差があるときには、撮像素子26上の各点で参照光と測定光との位相差が異なるから、球面鏡24の像として干渉縞が観測される。測定光は投影光学系14を2回通過しているから、干渉縞の位相差を2で割ることにより、投影光学系14の波面収差Wを求めることが出来る。

【0011】次いで、投影光学系14の射出瞳面上に座標系を定めて、得られた波面収差Wをその座標系で表わし、更に、直交関数系に展開する。本発明では、波面収差Wを前記光学系の瞳を中心とする回転対称成分と、奇数対称成分と、偶数対称成分に分離するから、座標系としては極座標を用い、直交関数系としてはツェルニケの円筒関数を用いる。

【0012】すなわち、射出瞳面上に極座標を定め、得られた波面収差Wを、
 $W(\rho, \theta)$

として表わす。ここで ρ は射出瞳の半径を1に規格化した規格化瞳半径、 θ は極座標の動径角である。次いで、波面収差 $W(\rho, \theta)$ を、ツェルニケの円筒関数系 $Z_n(\rho, \theta)$ を用いて、

$$W(\rho, \theta) = \sum C_n Z_n(\rho, \theta) \quad \dots (1)$$

と展開する。ここで C_n は展開係数である。また、ツェルニケの円筒関数系 $Z_n(\rho, \theta)$ のうち、 $n = 0 \sim 35$ は次の通りである。

【0013】

$$\begin{aligned}
 & 2 + 10) \rho^3 \sin 3\theta & 31: (56 \rho^6 - 104 \rho^4 + 60 \rho^2 - 10) \rho^2 c \\
 & \cos 2\theta & 32: (56 \rho^6 - 104 \rho^4 + 60 \rho^2 - 10) \rho^2 \sin 2\theta \\
 & 33: (126 \rho^8 - 280 \rho^6 + 210 \rho^4 - 60 \rho^2 + 5) \rho \cos \theta & 34: \\
 & (126 \rho^8 - 280 \rho^6 + 210 \rho^4 - 60 \rho^2 + 5) \rho \sin \theta & 35: 25 \\
 & 2 \rho^{10} - 630 \rho^8 + 560 \rho^6 - 210 \rho^4 + 30 \rho^2 - 1
 \end{aligned}$$

【0014】既に述べたように、従来の波面収差Wに基づく評価手法は、波面収差Wの最大最小の差(P-V値)やRMS値を評価指標として用いていた。しかしながら、P-V値やRMS値による評価では同じ値となる場合でも、各項の展開係数C₀、C₁、C₂、……の組み合わせによっては、空間像やレジスト像による評価では異なる性能を示す場合があった。すなわち波面収差WのP-V値やRMS値は、空間像やレジスト像による評価を必ずしも正確に予測するものではなかった。

【0015】そこで本発明者は、(1)式の各項を、
(a) θを含まない項、すなわち、ある座標での値と、その座標を瞳の中央を中心として任意の角度だけ回転した座標での値とが等しい回転対称な成分
(b) sin(又はcos) θ、sin(又はcos) 3θなどの、

$$\begin{aligned}
 & W_{\text{rot}}(\rho, \theta) \\
 & = C_0 + C_3 (2 \rho^2 - 1) + C_8 (6 \rho^4 - 6 \rho^2 + 1) \\
 & + C_{15} (20 \rho^6 - 30 \rho^4 + 12 \rho^2 - 1) \\
 & + C_{24} (70 \rho^8 - 140 \rho^6 + 90 \rho^4 - 20 \rho^2 + 1) + \dots \\
 & \dots (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & W_{\text{odd}}(\rho, \theta) \\
 & = C_1 (\rho \cos \theta) + C_2 (\rho \sin \theta) + C_6 ((3 \rho^2 - 2) \rho \cos \theta) \\
 & + C_7 ((3 \rho^2 - 2) \rho \sin \theta) + C_9 (\rho^3 \cos 3\theta) \\
 & + C_{10} (\rho^3 \sin 3\theta) + \dots \\
 & \dots (3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & W_{\text{even}}(\rho, \theta) \\
 & = C_4 (\rho^2 \cos 2\theta) + C_5 (\rho^2 \sin 2\theta) \\
 & + C_{11} ((4 \rho^2 - 3) \rho^2 \cos 2\theta) \\
 & + C_{12} ((4 \rho^2 - 3) \rho^2 \sin 2\theta) + C_{16} (\rho^4 \cos 4\theta) \\
 & + C_{17} (\rho^4 \sin 4\theta) + \dots \\
 & \dots (4)
 \end{aligned}$$

となる。

【0017】(1)式の波面収差Wの自乗平均平方根(RMS値)をr_Wとし、(2)式の波面収差の回転対称成分W_{rot}のRMS値をr_{rot}とし、(3)式の波面収差の奇数対称成分W_{odd}のRMS値をr_{odd}とし、(4)式の波面収差の偶数対称成分W_{even}のRMS値をr_{even}とすると、これらの間には、

$$(r_W)^2 = (r_{\text{rot}})^2 + (r_{\text{odd}})^2 + (r_{\text{even}})^2$$

の関係がある。

【0018】r_{rot}が球面収差と相関があることは自明であるが、本発明者は、r_{odd}をコマ収差と関連付け、r_{even}を非点収差と関連付けて検討したところ、共に強い相関があることがわかった。したがってこれら3つのRMS値r_{rot}、r_{odd}、r_{even}を投影光学系の評価指標として用いることにより、投影光学系によって形成され

動径角θの奇数倍の3角関数を含む項、すなわち、ある座標での値と、その座標を瞳の中央を中心として360°の奇数分の1だけ回転した座標での値とが等しい奇数対称な成分

(c) sin(又はcos) 2θ、sin(又はcos) 4θなどの、動径角θの偶数倍の3角関数を含む項、すなわち、ある座標での値と、その座標を瞳の中央を中心として360°の偶数分の1だけ回転した座標での値とが等しい偶数対称な成分

に分類して検討した。

【0016】すなわち、波面収差Wの回転対称成分、奇数対称成分、及び偶数対称成分をそれぞれ、W_{rot}、W_{odd}、W_{even}とすると、

る実際の空間像やレジスト像の球面収差、コマ収差、非点収差と関連付けることができ、より合理的に投影光学系の設計、調整が可能となった。

【0019】

【実施例1】次に実施例1と実施例2によって、具体的な評価の例を示す。実施例1では、波面収差の奇数対称成分のRMS値r_{odd}と、コマ収差との関係を示す。まず、コマ収差の定量化について説明する。空間像やレジスト像を使ったコマ収差の検出法には、古くから様々な方法が知られている。コマ収差が発生すると像の横ずれが起こるが、この横ずれの量は物体構造や空間周波数によって異なり、横ずれ量の差からコマ収差を定量化することができる。図3にコマ収差を検出するための物体構造(マスクパターン)の例を示す。幅Lの5本の遮光パターンを間隔Sで配置する。通常は、間隔Sは線幅Lと

同じ寸法であることが多い。間隔Sと線幅Lとが等しいときには、幅L (=S) の線が間隔Sにて無限に並んでいる細かい物体（空間周波数の高い物体）と、幅9Sの1つの大きな物体（空間周波数の低い物体）の両方の性質を併せ持つ。

【0020】次に、投影光学系の調整手法の一例について説明する。投影光学系において波面収差の回転対称成分が存在する場合、投影光学系を構成している複数の光学部材同士の間隔のうち、少なくとも1つの間隔を変化させることによって波面収差の回転対称成分を補正することができる。また、投影光学系において波面収差の奇数対称成分が存在している場合、この奇数対称成分とコマ収差との間で強い相関があり、単純な内コマ、外コマであるときには投影光学系中の複数の光学部材の間隔のうち、少なくとも1つの間隔を変化させることにより、内コマ、外コマを補正することができる。また、偏心コマ（光学部材が光軸に対して偏心または傾くことによるコマ収差）であるときには、投影光学系中の複数の光学部材のうち、少なくとも1つの光学部材を光軸に対して直交方向へ移動させるか、傾けることにより、この偏心コマを補正できる。

【0021】また、投影光学系において波面収差の偶数対称成分が存在している場合、この偶数対称成分と非点収差との間で強い相関があり、単純な像面湾曲による非点収差であるときには、投影光学系中の複数の光学部材の間隔のうち、少なくとも1つの間隔を変化させること

光学系のNA（開口数）	0.60
波長λ	248.4 nm
投影光学系の倍率	0.2倍
物体寸法L	1.0 μm
データ数	(中央の線の像の幅L ₃ =0.2 μm) 500個

【0024】図5 (a) と (b) に、波面収差の奇数対称成分のRMS値r_{odd}と、コマ収差Cとの関係を示す。このうち同図 (a) は、コヒーレンスファクター（照明光学系と投影光学系のNAの比率）が0.42の場合であり、同図 (b) は、コヒーレンスファクターが0.75の場合である。また縦軸のエラーバーは、平均値±1σを表す。同図より明らかなように、投影光学系の波面収差のうちの奇数対称成分W_{odd}の波面収差のRMS値r_{odd}が、コマ収差と強い相関を持っていることが確認できた。

光学系のNA（開口数）	0.60
波長λ	248.4 nm
投影光学系の倍率	0.2倍
物体形状	L=S=1.0 μmの無限周期パターン
データ数	500個

【0026】図5 (a) と (b) に、波面収差の偶数対称成分のRMS値r_{even}と、非点収差との関係を示す。このうち同図 (a) は、コヒーレンスファクターが0.

により補正できる。また、投影光学系の像面上の中心での非点収差（軸上非点収差）であるときには、投影光学系中の複数の光学部材のうち、少なくとも1つの光学部材を光軸を中心として回転させることにより補正できる。

【0022】図4 (a) と (b) に、この物体を投影光学系で結像させた場合の像面上の光強度分布を示す。このうち同図 (a) は、コマ収差がない場合の光強度分布を示し、同図 (b) は、コマ収差がある場合の光強度分布を示す。5本の線の像のうち、中央の線の像の光強度幅L₃が、ちょうどL×m (mは光学系の倍率) になる光強度でスライスして、このときの5本の線の左端の線の像の光強度幅をL₁とし、右端の線の像の光強度幅をL₅と定義すると、空間周波数によってコマ収差による横ずれ量に差があるので、L₁とL₅の寸法に差が生じる。そこで、たとえばコマ収差Cを、

$$C \equiv (L_1 - L_5) / (L_1 + L_5)$$

と定義することにより、光強度分布を利用してコマ収差量の定量化が可能となる。

【0023】さて本発明者は、(3)式の波面収差の奇数対称成分W_{odd}の展開係数C₁、C₂、C₆、…がさまざまな値を持ったケースをモンテカルロ法によって模擬し、各々のケースにおける波面収差の奇数対称成分のRMS値r_{odd}とコマ収差Cを計算した。計算条件は以下の通りである。

光学系のNA（開口数）	0.60
波長λ	248.4 nm
投影光学系の倍率	0.2倍
物体寸法L	1.0 μm
データ数	(中央の線の像の幅L ₃ =0.2 μm) 500個

【0025】

【実施例2】次に実施例2では、波面収差の偶数対称成分のRMS値r_{even}と、非点収差との関係を示す。実施例1と同様に、本発明者は、(4)式の波面収差の偶数対称成分W_{even}の展開係数C₄、C₅、C₁₁、…がさまざまな値を持ったケースをモンテカルロ法によって模擬し、各々のケースにおける波面収差の偶数対称成分のRMS値r_{even}と非点収差を計算した。計算条件は以下の通りである。

光学系のNA（開口数）	0.60
波長λ	248.4 nm
投影光学系の倍率	0.2倍
物体形状	L=S=1.0 μmの無限周期パターン
データ数	500個

4.2の場合であり、同図 (b) は、コヒーレンスファクターが0.75の場合である。また縦軸のエラーバーは、平均値±1σを表す。同図より明らかなように、投

影光学系の波面収差のうちの偶数対称成分 W_{even} の波面収差のRMS値 r_{even} が、非点収差と強い相関を持っていことが確認できた。なお、以上の説明では、結像性能を評価しようとする光学系が、露光装置の投影光学系である場合について説明したが、本発明による評価方法は明らかに、いかなる種類の結像光学系に対しても適用することが出来る。

【0027】

【発明の効果】以上のように本発明によって、光学系を透過した波面収差を瞳の中央を中心とした回転対称成分、奇数対称成分、偶数対称成分に分離して評価を行うことにより、光学系によって形成される実際の空間像やレジスト像の球面収差、コマ収差、非点収差と関連付けることができ、より合理的に光学系の設計、調整が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】半導体素子等の製造に使用される露光装置の概略図

【図2】フィゾー型干渉計の波面収差測定の概念図

【図3】コマ収差を検出するための物体構造（マスクパターン）の一例を示す図

【図4】(a)図3の物体をコマ収差がない光学系で結像させた場合の像面上の光強度分布と、(b)同じくコマ収差がある光学系で結像させた場合の像面上の光強度分布を示す図

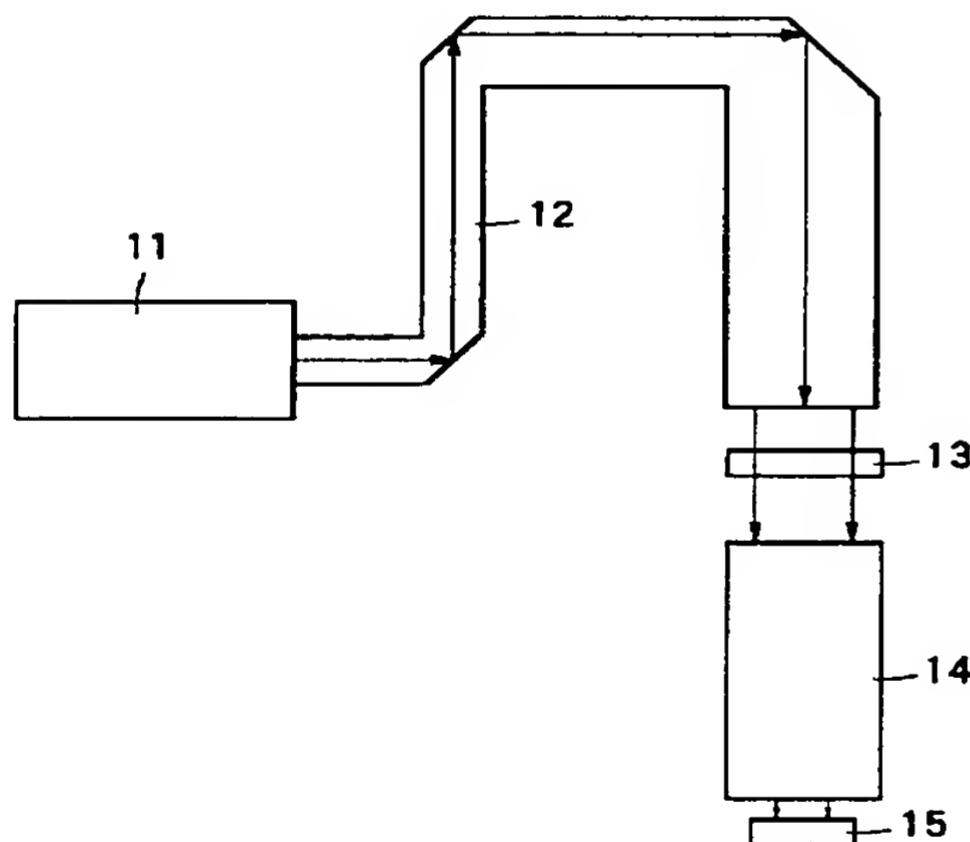
【図5】(a)コヒーレンスファクターが0.42の場合と、(b)コヒーレンスファクターが0.75の場合の、波面収差の奇数対称成分のRMS値 r_{odd} とコマ収差Cとの関係を示す図

【図6】(a)コヒーレンスファクターが0.42の場合と、(b)コヒーレンスファクターが0.75の場合の、波面収差の偶数対称成分のRMS値 r_{even} と非点収差との関係を示す図

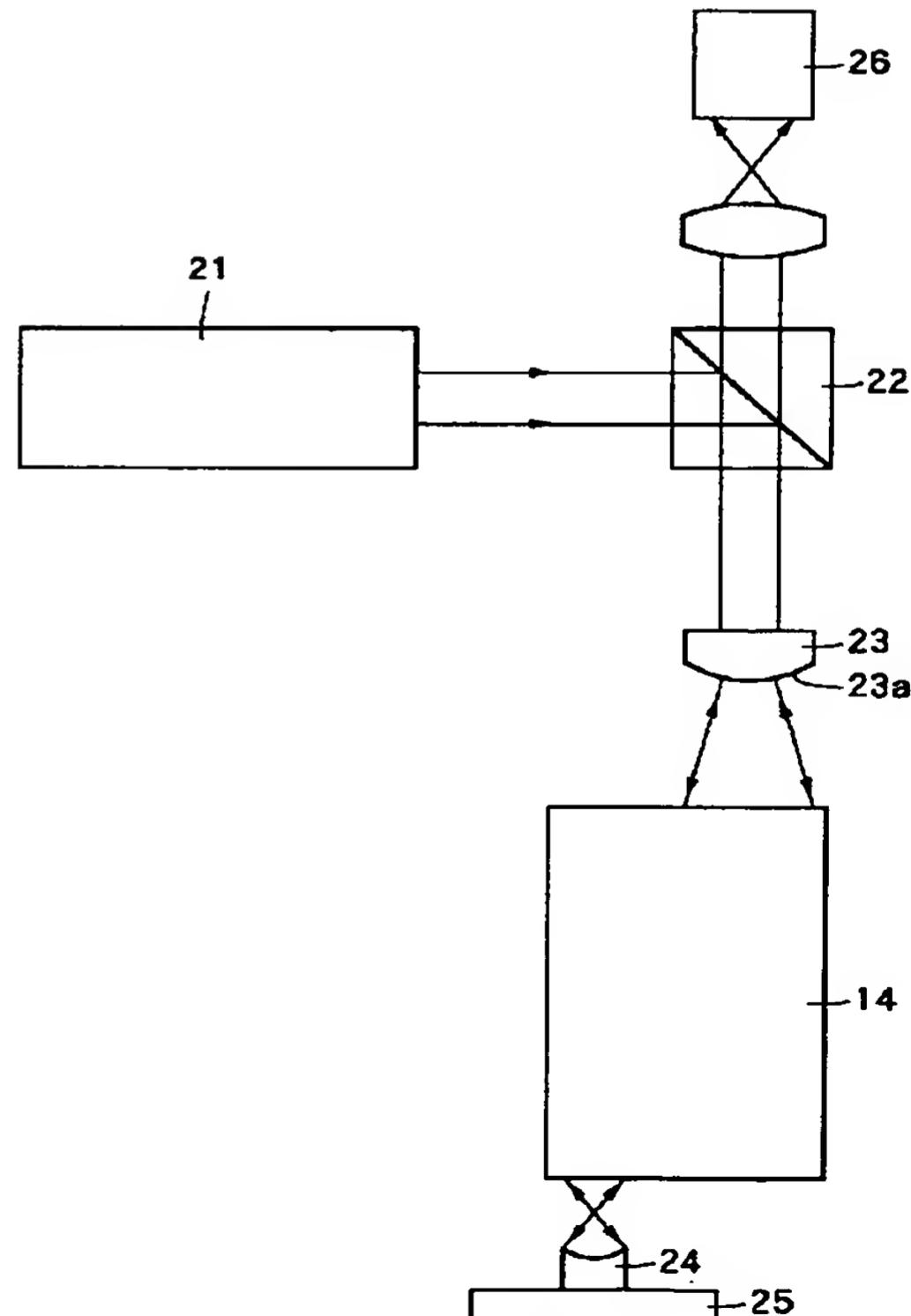
【符号の説明】

11…光源	12…照明光学系
13…マスク	14…投影光学系
15…ウエハ	21…光源
22…ハーフプリズム	23…フィゾーレンズ
23a…参照面	24…球面鏡
25…XYステージ	26…撮像素子
P…パターン	

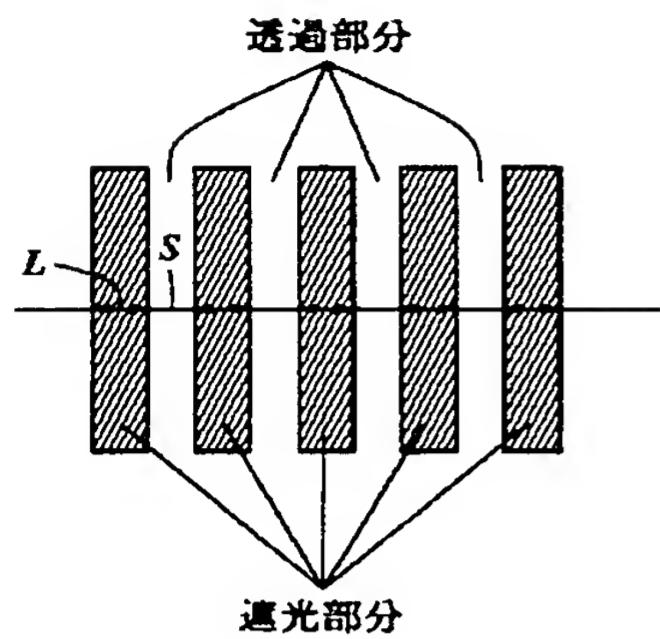
【図1】



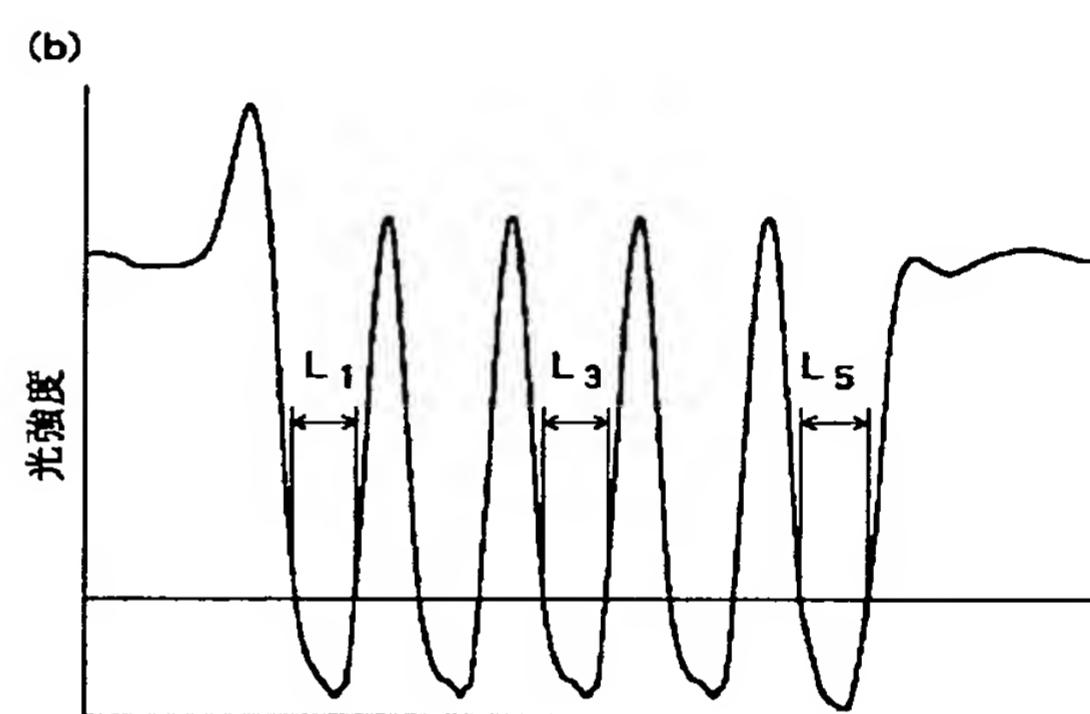
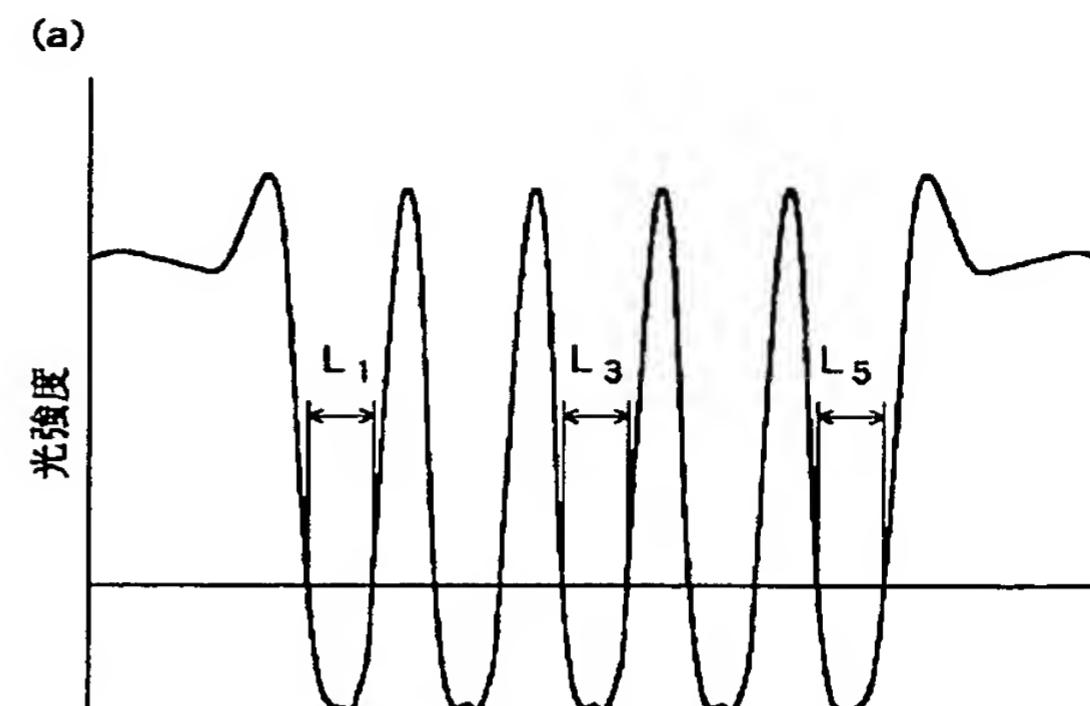
【図2】



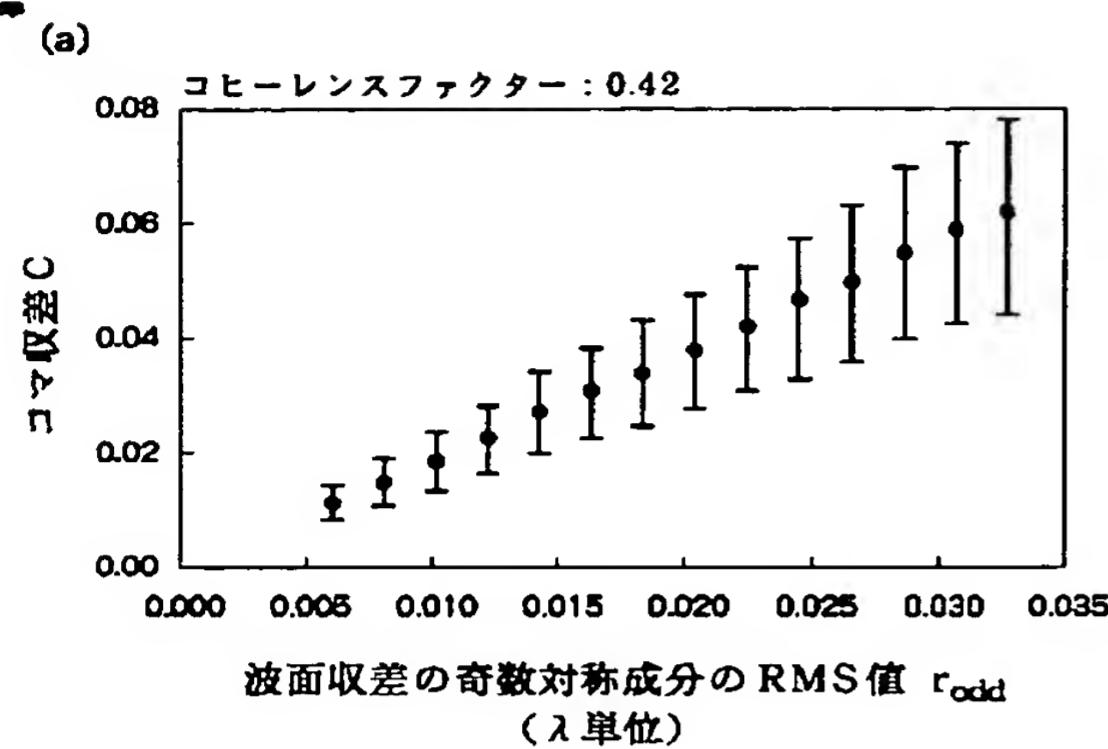
【图3】



【四 4】



【図5】



【図6】

